

Institute de
17
radiophysique
Rue du Grand-Pre 1
CH-1007 Lausanne

ص 1 من

فحص الأدلة الجنائية في قضية السيد لوفيت تحديد النشاط الإشعاعي في أمتعة السيد لوفيت

البروفيسور مانجين (CURML/CHUV): □□□□

<p>المؤلفون: الطبيب والمدرس المساعد/باسكال فرواديفوكس، د/سيباستيان بيتشتر، بروفيسور/فرانسوا بوتشود</p>	<p>□□□□□ □□□□□□ 11.05.2012</p>
--	--

1. مقدمة

تسلم معهد الفيزياء الإشعاعية والمشار إليه فيما بعد "IRA" الأمتعة الشخصية الخاصة بالسيد لوفيت من المركز الجامعي للطب الشرعي والمشار إليه فيما بعد "بمركز CURML" للقيام بالتحقق من وجود تلوث إشعاعي محتمل مع إيلاء الاهتمام الخاص بمادة البولونيوم ^{210}Po وبسبب انخفاض التركيز بأكثر من النصف 20 مرة بين احتمال التلوث بمادة ^{210}Po وبين القياسات الحالية فمن الضروري أن نتبع تقنيات منخفضة المستوى لكي نحدد وجود مادة ^{210}Po غير المدعومة (غير المدعومة بعنصرها الرئيسي ^{210}Pb (الرصاص المشع 210)).

المواد والأساليب

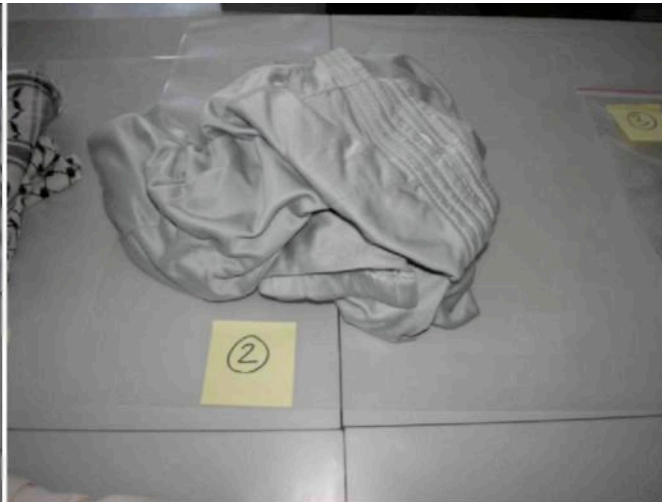
□□□□□ □□□□ □□□□□□

أجريت قياسات تلوث السطح باستخدام المرقاب Berthold LB-122 مضبوطاً على الوضع β/γ والمراقب Como مضبوطاً على الوضع α ، وقد تم مسح جميع الأمتعة الشخصية يدوياً للكشف عن التلوث الإشعاعي.

□□□□ □□□□□ □□□□□□ □□□□□□

لأجل القيام بالقياس الطيفي بأشعة جاما فقد تم تقسيم الأمتعة الشخصية إلى 11 عينة كما هو موضح بالشكل 1، تم قياس كل عينة على مقياس طيف أشعة جاما التي تحتوي على كاشف جرمانيوم عالي النقاوة (HPGe) (وقت القياس > 24 ساعة). تم إجراء الفحص عن النيوكليدات المشعة الصناعية مثل الكوبالت ^{60}Co والسييزيوم ^{134}Cs والسييزيوم ^{137}Cs بالإضافة إلى الرصاص المشع (^{210}Pb).

الشكل 1: صور أمتعة السيد لوفيت مقسمة على 11 عينة لإجراء القياس الطيفي بأشعة جاما.





□□□□ □□□□ □□□□ □□□□ □□□□

تصنيف العينات: تابعنا الفحص لتحديد مادة ^{210}Po على احتمال ارتداء تلك العينات قبيل الوفاة بقليل، ولذا اشتملت عينات المجموعة الأولى على: عينة مأخوذة من ياقة إحدى الملابس الرياضية التي بها بقع شديدة الاتساخ، عينة من الجزء الأمامي من نفس البذلة الرياضية، عينة من الجزء الأمامي من بنطال صوفي، قرصان لمزيج من أدوية مختلفة (حوالي 38 جم)، عینتان من الملابس الداخلية التي بدا بشكل واضح أنه قد تم ارتداؤها من قبل. أخذت إحدى العينتين من بقعة في الجزء الأمامي من السروال الداخلي، تم تعريفها على الأرجح على أنها بقعة بول. وبعد ظهور نتائج تحديد المادة ^{210}Po (انظر النتائج) تابعنا العمل على أخذ عينات من 6 أجزاء متبقية من هذا السروال الداخلي. هذه العينات مثل المذكورتين أعلاه تحتوي على 3 4 جم من القطن، أما البذلة الرياضية فهي مصنوعة من خليط القطن والألياف الصناعية. تم أخذنا عينة من بقعة عمليات، حيث أخذت هذه العينة عن طريق القطع حول بقعة دم وزنت 0.7041 جم، وأما هذه المجموعة الثالثة من العينات فهي تحوي كذلك عينات من ملابس داخلية أخرى (ربما لم تلبس)، وعينة ثانية من ياقة البذلة الرياضية، وعينة من شعيرات فرشتي أسنان (استخدمت إحداها قطعاً)، قالب مواد متفاعلة (حمض الكبريتيك: 10 مل، حمض النيتريك: 25 مل، هيدروكسيد الأمونيوم: 40 مل، حديد: 20 مجم).

تحتوي المجموعة الرابعة من العينات جزأين من عينتين من سروال داخلي آخر، عينة من كوفية اقتطع حول بقعة (من المحتمل أن تكون بقعة دم تزن 2.2540 جم)، عينة بسيطة من قبعة "روسية" (مقطع داخلي متصل بالرأس) من المعروف أن السيد لوفيت كان يرتديها قبيل وفاته.

تحتوي المجموعة الخامسة من العينات 3 سراويل داخلية من 3 معاونين مختلفين من معهد IRA.

تحتوي المجموعة السادسة من العينات عينة من جورب تم ارتدائه على الأرجح، قطعة كبيرة من سراويل داخلية طويلة (112.7529 جم)، قالب مواد متفاعلة، سروال داخليان جديان تم شراؤهما مباشرة من محل (بون جني، لوزان) تحمل الاسم التجاري الزميرلي Zimmerli (مطابق للاسم التجاري الموجود على ملابس السيد لوفيت الداخلية)، سروال داخلي يحمل الاسم التجاري هانرو Hanro.

تحتوي المجموعة السابعة من العينات عينة (بعيداً عن بقعة الدم) من قبعة العمليات، و عينة مكمل للقبعة الروسية، عينة من شعيرات فرشاة أسنان من المتعاونين بمعهد IRA، ثلاثة أجزاء من عينات من سروال داخلي طويل (أخذت بطول الساق).

تحتوي المجموعة الثامنة من العينات أربعة قطع قطنية مأخوذة من رسومات أولية حول بقع (لعاب على الأرجح، قى، دم، تزن في مجملها 1.4631 جم)، عينة مأخوذة من الشريط الداخلي والعلوي (المتسخ) لشبشب قديم، عينة من جورب جديد (لم يتم ارتدائه، لم ينزع منه الدبوس)، عينة من قالب لمواد متفاعلة.

تحتوي المجموعة التاسعة من العينات عينتين إضافيتين من ياقة البذلة الرياضية، عينة من خلفية البذلة الرياضية، حول بقعة (يمكن أن تكون دمًا، 0.7565 جم) وثلاث عينات أخرى من شريط داخلي متصل ببطانة القبعة الروسية.

تحتوي المجموعة العاشرة والأخيرة من العينات لطخات الأمتعة الشخصية مثل النظارة ولطخة فارغة، عينات مشكلة من شعيرات فرشاة أسنان لأحد معاوني معهد IRA، عينة من قبعة عمليات، عينة من رسومات أولية (من بين البقع)، قالب مواد متفاعلة.

أخذت جميع العينات بهدف إيجاد العينات الملوثة، لذا اختبرت العينات "المتسخة". ولاحتمال أن يكون القطن به نسبة (غير معروفة) من $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$ بسبب تعرض القطن للترسيبات الجوية أثناء فترة الإعداد لأن الكرات القطنية تتمتع بسطح امتصاص كبير. لذا قررنا قياس بعض الأنسجة القطنية الفارغة (التي لم يحدد تعرضها لمادة ^{210}Po غير المدعومة).

تحديد المادة ^{210}Po . طريقة الفحص مقدمة بالتفصيل في مادة مكمل، وباختصار فقد تم تتبع أجزاء العينات بنسب 50 ميلي بيكريل من ^{209}Po مذابة بتركيز حمض الكبريتيك عند درجة 70 مئوية تقريباً من أجل تحفيز تجفاف القطن (عينة محروقة)، ثم تؤكد العينة المحروقة باحتراس باستخدام جزيئات من تركيز حمض النيتريك (انبعاث قوي من بخار أكسيد النيتروجين). بعدما يقل انبعاث أكسيد النيتروجين تتواصل عملية

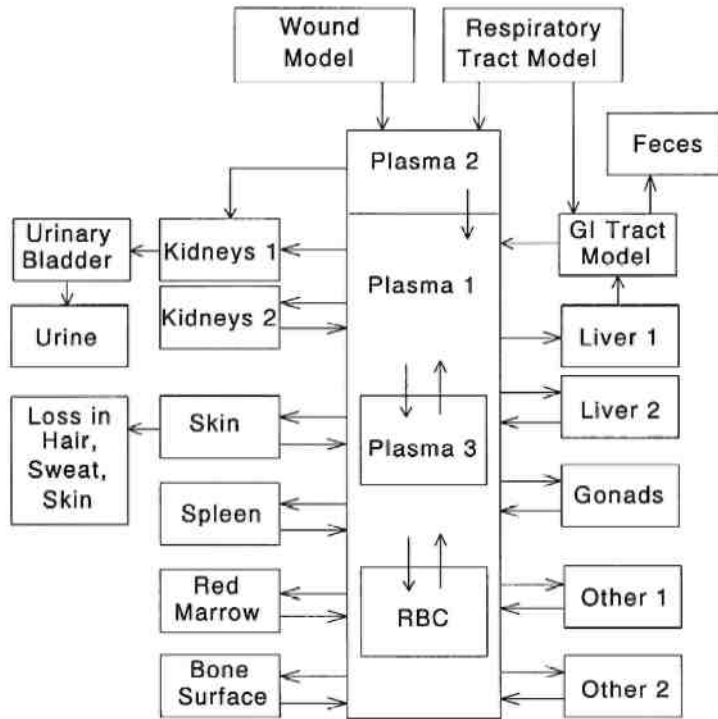


ويترسب البولونيوم عن طريق الكهرباء تلقائيًا على قرص فضي في غضون 4 ساعات عند درجة حرارة 50 درجة مئوية (أو في درجة حرارة الغرفة خلال فترة الليل).

تحديد مادة ^{210}Po ^{210}Pb طريقة الفحص مقدمة بالتفصيل في مادة مكملة. باختصار، بعد ترسيب مادة ^{210}Po كهربيًا يتبخّر المحلول حتى الجفاف، تضاف جزيئات حمض النيتريك لتفتت كافة أحماض الأسكوربيك المتبقية. تحل المواد المتبقية في 10 مل من محلول 9 M لحامض الهيدروكلوريك HCl ويمرر هذا المحلول من خلال عمود الاستشراب الأنيوني (2 جم من AG1x8) لاستخلاص $[\text{PoCl}_6]^{2-}$. يمر ^{210}Pb بمحلول الاستخلاص الذي يتبخّر حتى حالة الجفاف. تحل المواد المتبقية في 80 مل من محلول 1M لحامض الهيدروكلوريك HCl ثم تترك في الثلاجة لمدة ثلاثة أشهر على الأقل (تعاد مادة ^{210}Po بنسبة 36.6% من مادة ^{210}Pb)، وبعد ذلك يضاف 50 ميلي بيكريل من ^{209}Po ثم يترسب البولونيوم كهربيًا على قرص فضي كما في المرحلة السابقة.

تم تنفيذ نموذج الأنشطة الحيوية لمادة البولونيوم الذي اقترحه كل من لجيت وإيكرمان [1] (انظر الشكل 2) في نموذج أداة المحاكاة Ecolego

لحساب مقدار الاستبقاء النمطي لمادة ^{210}Po في الأعضاء والأنسجة في حالة دس السم. في الحالة الأخيرة، فإن الابتلاع هو طريقة التناول الأكثر احتمالاً. ولهذا فقد تم دمج نموذج الأنشطة الحيوية الكلي مع نموذج القناة الهضمية مقدم من اللجنة الدولية للوقاية الإشعاعية ICRP (100)، من المفترض أن يحدث امتصاص مادة ^{210}Po فقط في الأمعاء الدقيقة ويتسم بامتصاص معوي مجزأ $f_1=0.1$ (غير عضوي) أو $f_1=0.5$ (عضوي). تعرف القيمة f_1 بأنها الجزء الذي ينتقل فيه النشاط من المعدة ثم إلى الدم عن طريق الامتصاص من الأمعاء الدقيقة. وباستخدام هذا النموذج مع $f_1=0.1$ تقرر الإفراز اليومي من البول بعد التناول الحاد لـ 1 بيكريل من مادة ^{210}Po . استنادًا إلى تقييمات النشاط لمادة ^{210}Po التي تم ابتلاعها في قضية دس السم للسيد/اليتفينيكو تم تقييم مستوى النشاط الذي قد نجده في البول والأمتعة الشخصية وبخاصة الملابس الداخلية في قضية السيد لوفيت.



الابتلاع

الشكل 2: مخطط للنموذج الكلي لمادة البولونيوم وارتباطها بنموذج المجرى المعوي.

النتائج والمناقشة

□□□□□ □□□□ □□□□□□

لم تظهر قياسات تلوث السطح وجود التلوث الإشعاعي في الأمتعة الشخصية.

□□□□ □□□□□ □□□□□□ □□□□□□

نتائج القياس الطيفي بأشعة جاما موضحة بالجدول 1، لم تظهر أي من العينات نشاطاً يمكن قياسه، وعليه فنحن نضع حدود الاكتشاف لأدوات قياس ^{210}Pb ، ^{137}Cs ، ^{134}Cs ، ^{60}Co .

الجدول 1: نتائج قياس النشاط في أمتعة السيد لوفيت باستخدام التحليل الطيفي بأشعة جاما. يعني الرمز "<" أقل من حد الكشف بأداة القياس.

النشاط بالبيكيريل

الرقم	وصف العينة	Co - 60	Cs - 134	Cs - 137	Pb - 210
1	الكوفية	< 0.6	< 0.6	< 0.6	< 19
2	البذلة الرياضية	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 3
3	القبعة	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 3
4	الملابس، بما فيها الملابس الداخلية	< 0.3	< 0.3	< 0.3	< 4
5	الحقيبة الرياضية (كاملة)	< 2	< 2	< 2	< 30
7	الملابس، بما فيها الملابس الداخلية	< 0.7	< 0.7	< 0.7	< 20



بما أن مادة ^{210}Po تبعث أشعة جاما تقدر بنحو 803 كيلو إلكترون فولت (keV) مع كثافة منخفضة تقدر بنحو 0.00107% فإن نشاطها يمكن قياسه في البول باستخدام التحليل الطيفي لأشعة جاما إذا كان مستوى الجرعة مرتفعاً وأجريت القياسات في وقت مبكر على نحو كافٍ بعد التناول. لذا فإن نتائج كلا القياسين للبول والذين تم إجراؤهما في 8.11.2004 من طرف "Laboratoire de contrôle radiotoxicologique des Armées" قد تمت إعادة تقييمها بحثاً عن مادة ^{210}Po . هذا التحليل الإضافي للطيفيين اللذين تم الحصول عليهما خلال 15 ساعة لم يكتشف عن وجود مادة ^{210}Po . بناءً على حد كشف المغنسيوم ^{54}Mn (γ) من 834.8 كيلو إلكترون فولت) الموجود في التقرير فقد قمنا بتقدير حد الكشف عن مادة ^{210}Po في هذه الأداة بما يقرب من 25 كيلو بيكريل/ل.

□□□□ □□□□□ □□□□□□ □□□□□□

النتائج موضحة في الجدول 2. بعد قياس المجموعة الأولى تبين أن عينة من الملابس الداخلية والمحتوية على بقعة بول اشتملت على نسبة مرتفعة من مادة ^{210}Po دون غيرها (49 ميلي بيكريل/جم). ثم قمنا بقياس 6 عينات أخرى وأظهرت عينة أخرى نشاطاً متقدماً لمادة ^{210}Po (9.7 ميلي بيكريل/جم). تحتوي كافة العينات الأخرى من الملابس الداخلية على نشاط قد يعتبر نشاطاً فرعياً يبلغ نحو 1.0-4-0 ميلي بيكريل/جم من القطن.

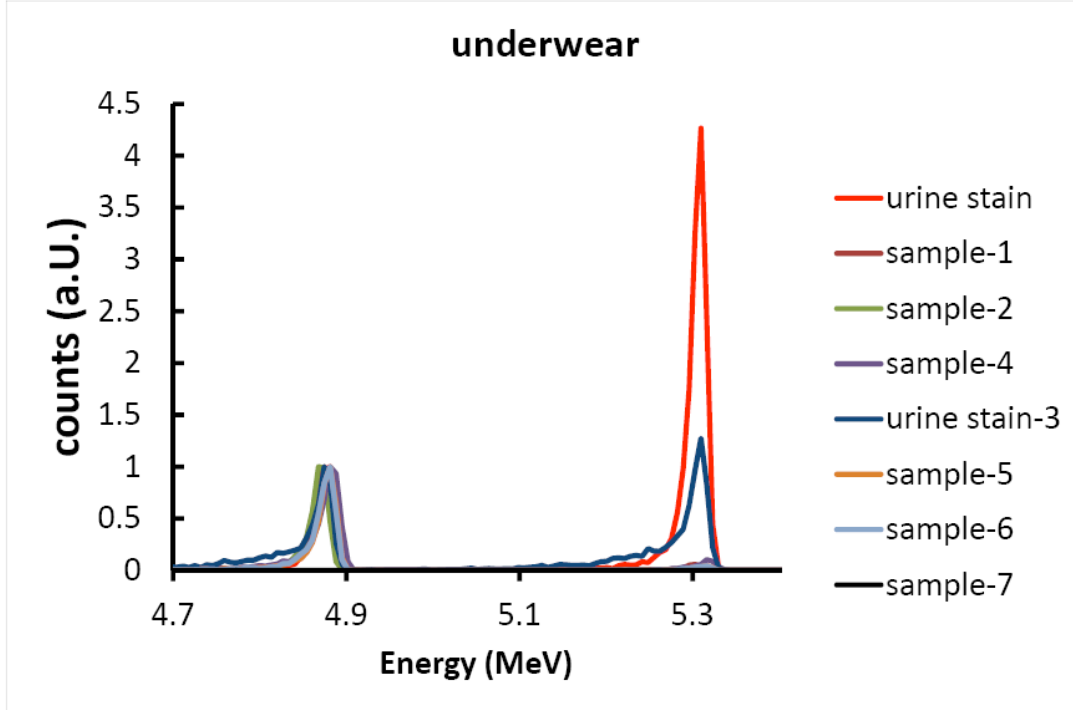


الجدول 2: نشاط مادة ^{210}Po (ميلي بيكريل/جم) لأجزاء من عينات مختلفة لأمتعة السيد لوفيت الشخصية وعينات مرجعية (غير ملوثة) مأخوذة من معاهدي معهد IRA مصنفة وفق ترتيب النشاط بها.

الوصف	مجم في التحليل	^{210}Po (نبلي)
شعيرات فريشة الأسنان	0.4	54
السروال الداخلي أ، بقعة البول	3.69	49
قبعة العمليات الجراحية، العينة 3	0.8193	20
قبعة عمليات بها بقعة دم	0.704	19.2
القبعة الروسية 1	3.636	9.7
السروال الداخلي أ، العينة 3	6.2667	9.7
البذلة الرياضية، الجزء الخلفي، بقعة دم	0.7565	6.8
قبعة العمليات الجراحية، العينة 2	0.2895	6.0
القبعة الروسية 4	1.9403	5.8
شبشب قديم، الجزء الداخلي	0.8906	3.9
رسومات أولية، بقع	1.4631	3.5
البذلة الرياضية، الياقة، العينة 1	3.3723	3.2
جورب (تم ارتداؤه)	2.1693	2.2
القبعة الروسية 2	0.3049	2.1
الكوفية، بقعة دم	2.254	1.6
البذلة الرياضية، الياقة، العينة 4	3.9710	1.4
البذلة الرياضية، الياقة، العينة 5	4.1180	1.2
لطاخة أمتعة شخصية	0.63	1.2
القبعة الروسية 3	1.7320	1.1
السروال الداخلي ج، العينة 1	2.5885	1.1
رسومات أولية، بدون بقع	2.5781	1.0
القبعة الروسية 5	2.7055	1.0
السروال الداخلي ج، العينة 0	3.2342	0.9
السروال الداخلي أ، العينة 2	5.476	0.9
سروال قطني طويل	2.7707	0.8
شبشب قديم، رباط علوي	5.2198	0.8
السروال الداخلي أ، العينة 4	3.3384	0.7
السروال الداخلي ب، العينة 2	4.6926	0.7
البذلة الرياضية، ياقة ليس بها خيط قطني	2.9461	0.6
السروال الداخلي أ، العينة 3	2.3731	0.6
البذلة الرياضية، الجزء الأمامي	2.4764	0.6
السروال الداخلي أ، العينة 5	4.9678	0.5
السروال الداخلي أ، العينة 6	4.3517	0.5
السروال الداخلي أ، العينة 1	3.425	0.4
سروال داخلي طويل، عينة 3	3.5286	0.4
جورب جديد، لم يلبس	1.6164	0.3
السروال الداخلي ب، العينة 1	4.0858	0.3
سروال داخلي طويل، عينة 1	2.2687	0.2
سروال داخلي طويل، عينة 2	4.1529	0.2
مزيج دوائي (قرصان)	39	0.1

القطن والعينات المرجعية

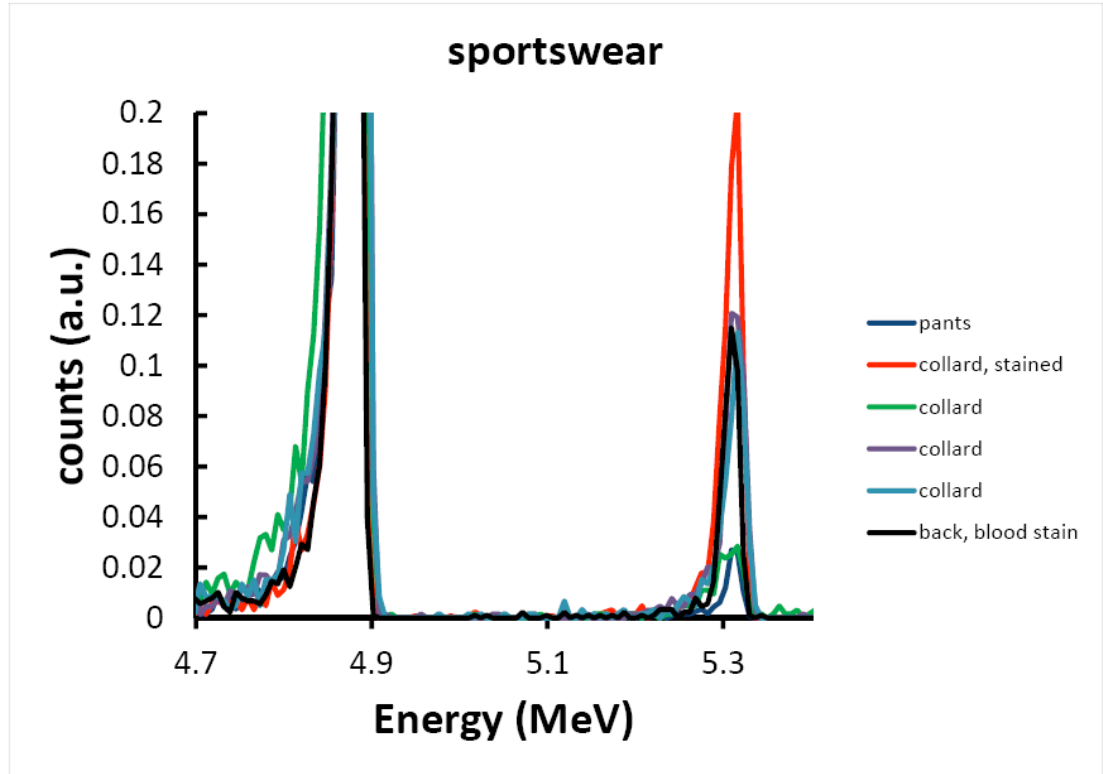
شعيرات فريشة أسنان من المعاون الأول بمعهد IRA	0.4776	21
سروال داخلي من المعاون الثاني بمعهد IRA، العينة 1	3.0715	6.7
سروال داخلي جديدة، يحمل الاسم التجاري	3.3725	2.1
سروال داخلي من المعاون الثاني بمعهد IRA، العينة 2	3.2315	1.5
سروال داخلي من المعاون الثالث بمعهد IRA، العينة 1	3.7615	1.0
سروال داخلي من المعاون الأول بمعهد IRA، العينة 1	3.1571	0.9
سروال داخلي من المعاون الأول بمعهد IRA، العينة 2	3.5817	0.9
سروال داخلي من المعاون الثالث بمعهد IRA، العينة 2	3.3311	0.5
سروال داخلي جديدة، يحمل الاسم التجاري	3.5805	0.5
سروال داخلي جديد، الاسم التجاري هانرو	4.2094	0.3



الشكل 2: تمت معايرة أطياف ألفا من مادة البولونيوم وفق نشاط جهاز تتبع مادة ^{209}Po (الذروة اليسرى) لسبع عينات من الملابس الداخلية التي تعود إلى السيد لوفيت. وأشارت التقديرات إلى وجود مادة ^{210}Po بالقرب من السطح أسفل الذروة اليمنى. اسم العينة "بقعة البول" يبرز بوضوح بقعاً ناجمة عن البول.

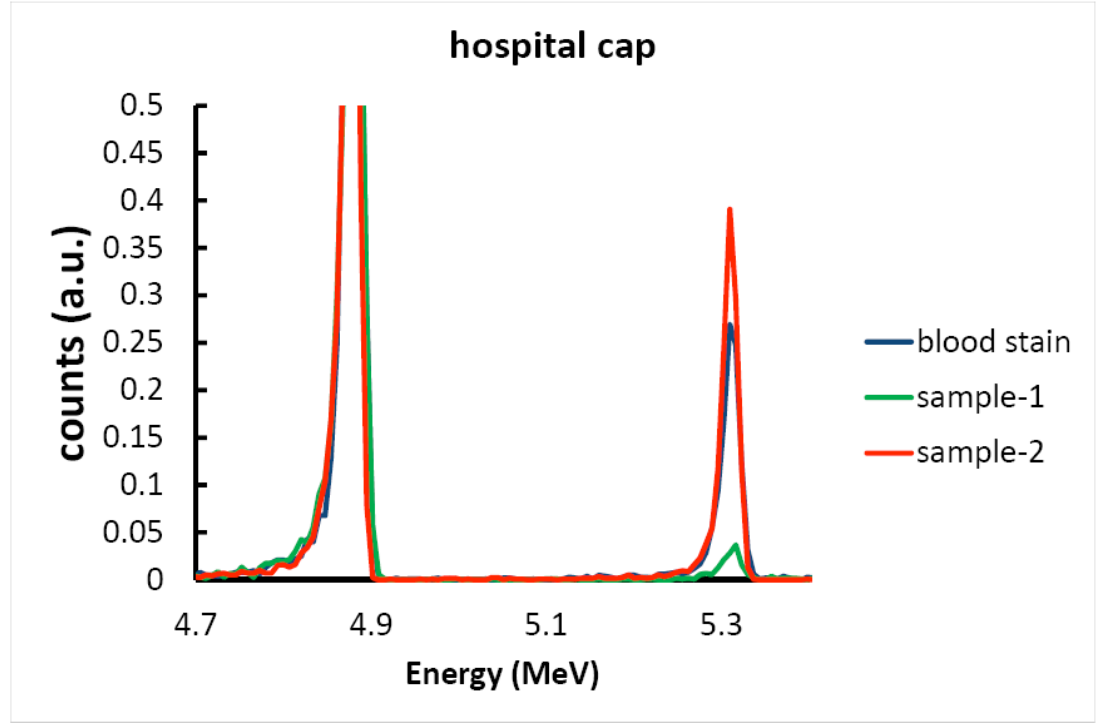
يوضح الشكل 2 أطياف ألفا لمصادر البولونيوم التي تم الحصول عليها من كافة العينات المأخوذة من السروال الداخلي أ. يمكننا ملاحظة أن هناك جزأين ملوثين بقوة بمادة ^{210}Po . والجزء الأكثر تلوثاً من هذه العينات هو عينة من السروال الداخلي تظهر بقعة منسوبة إلى البول. وقد تم بعد ذلك تحليل عينات عدة من الملابس الداخلية ب و ج وكذا عينات تم أخذها من سروال داخلي طويل؛ ولم ينتج عن أية عينة نشاط إشعاعي يعلو 1.1 مللي بيكريل/جرام من القطن. وهذا يتسق مع حقيقة أن هذه الملابس بدت وكأنها لم يتم ارتداؤها على الإطلاق. نظن أن هذه العينات قد تم شراؤها من متجر معفي من الرسوم الجمركية بالمطار أثناء نقل السيد لوفيت إلى باريس، وذلك نظراً لأن الملابس الداخلية التي تحمل العلامة التجارية الزيميرلي لا توجد بشكل شائع خارج متاجر السلع الفاخرة.

كما أن هناك عينات عدة من البذلة الرياضية ملوثة بشكل واضح بمادة ^{210}Po . وقد بدا على البذلة الرياضية العديد من البقع المتسخة، خاصة في الياقة، ولذلك انتابنا الشك في أن السيد لوفيت قد ارتدى هذه الملابس قبل وفاته. ترد أطياف ألفا في الشكل 3. يمكننا رؤية أن 3 عينات من الياقة من أصل أربعة عينات تحتوي على أنشطة إشعاعية لمادة ^{210}Po أعلى بكثير من تلك العينة التي أخذت من السروال الضيق وأن العينة المأخوذة من الجزء الخلفي من السروال الذي يظهر بقعة دم مشتبه بها يحتوي على نشاط أعلى من العينات التي من المفترض أن تكون غير ملوثة.



الشكل 3: تمت معايرة أطياف ألفا لمادة البولونيوم وفق نشاط جهاز تتبع مادة ^{209}Po لخمس عينات من البذلة الرياضية التي تعود إلى السيد لوفيت.

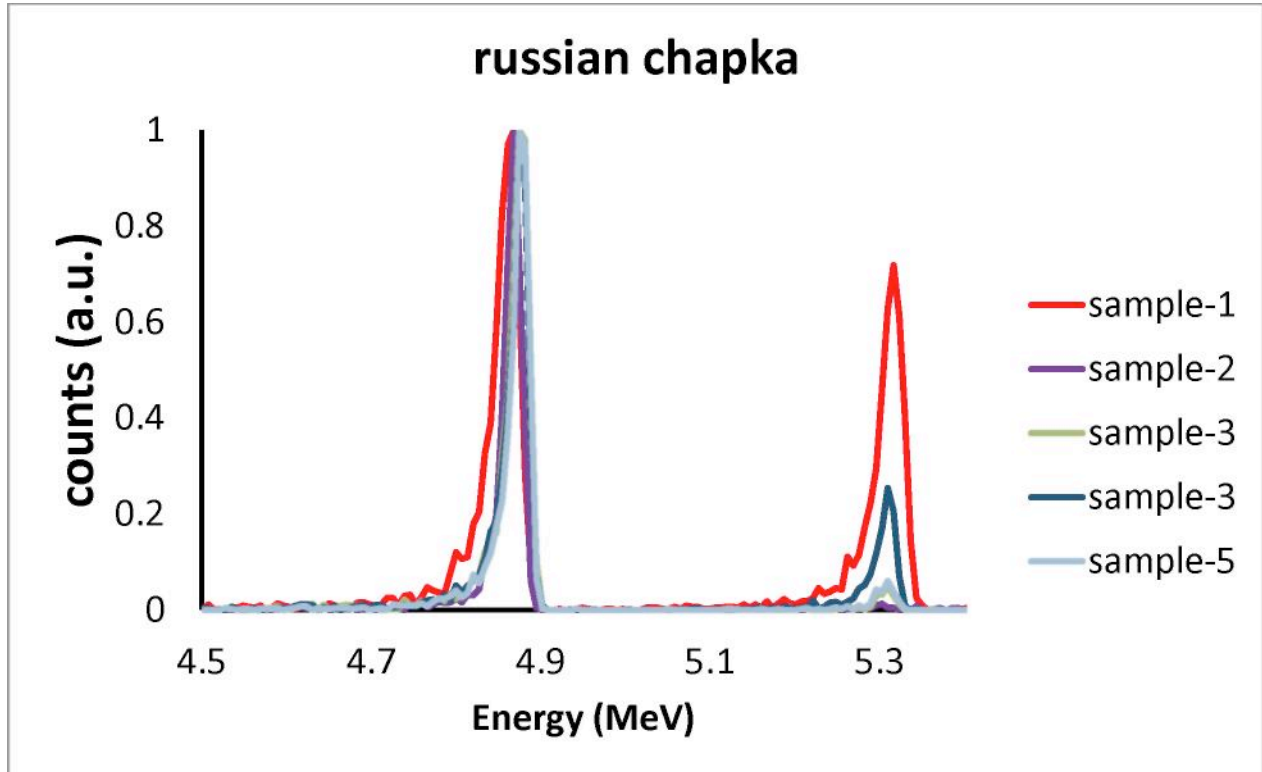
كانت الحقيبة الشخصية للسيد لوفيت تشتمل على قبعة عمليات جراحية تحتوي على بقعة دم. كما أننا نظن بقوة أن السيد لوفيت قد ارتدى هذه القبعة أثناء تلقيه العلاج بالمستشفى. لقد قمنا باقتطاع قطعة من القطن المحيط ببقعة الدم هذه وكذا قطعتين أخريين من القبعة. وقد أظهرت النتائج تلوث ببقعة الدم بقوة وكذا عينة من العينات الأخرى بمادة ^{210}Po (الشكل 4).



الشكل 4: تمت معايرة أطياف ألفا لمادة البولونيوم وفق النشاط الإشعاعي لجهاز تتبع مادة ^{209}Po لثلاث عينات من قبعة العمليات الجراحية التي يظن بقوة ارتداء السيد لوفيت إياها قبل وفاته.

يمكننا ملاحظة أن السيد لوفيت كان يرتدي القبعة الروسية في صورة الإثبات التي تم التقاطها له قبل وقت قصير من نقله إلى باريس. تم العثور على هذه القبعة الروسية بالإضافة إلى قبعتين أخرتين في الأمتعة التي تلقيناها. وقد قمنا باقتطاع عدة قطع من الشريط الداخلي المتصل مباشرة بالجمجمة بالقرب من الصدغين. تحتوي اثنتان من هذه العينات على مادة ^{210}Po بمقدار أكبر بكثير من الثلاث الأخريات (الشكل 5).

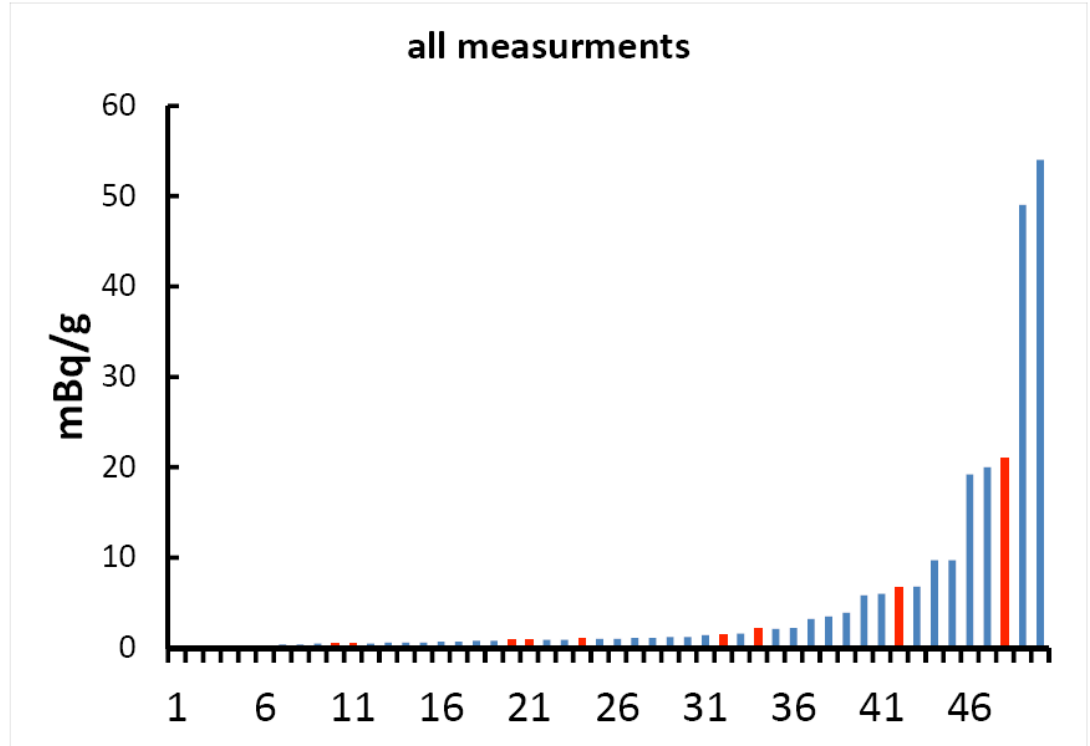
بعد قياس أكثر من 40 عينة من أمتعة السيد لوفيت، كان من الضروري تحديد قيمة أساسية لعينات مختلفة من القطن. تبين هذه القياسات أن معظم العينات تحتوي على نشاط إشعاعي لمادة ^{210}Po يتراوح مقداره ما بين 0.5 و 1 مللي بيكريل/جرام (نانو=6). وبرغم ذلك، تظهر الثلاثة عينات المأخوذة من سروالين داخليين مختلفين أنشطة إشعاعية يتراوح مقدارها ما بين 1.5 و 6.7 مللي بيكريل/جرام. كما لم يتم تفسير القيمة الإشعاعية للسروال الداخلي التي تبلغ 6.7 مللي بيكريل/جرام والتي تم الحصول عليه من المعاون الثاني من معهد IRA (العينة 1) حتى الآن. ومع ذلك نلاحظ أن العينات المأخوذة من أمتعة السيد لوفيت والتي يتضح أنه لم يرتديها البتة لا تحتوي على نشاط إشعاعي كبير لمادة ^{210}Po (0.2 0.9 مللي بيكريل/جرام، نانو=18). وهكذا يمكن بكل وضوح اعتبار النشاط الإشعاعي الذي يبلغ ما يقرب 1.0 مللي بيكريل/جرام كقيمة أساسية لأمتعة السيد لوفيت.



الشكل 5. تمت معايرة أطياف ألفا من مادة البولونيوم وفق النشاط الإشعاعي لجهاز تتبع مادة ^{209}Po وذلك لخمس عينات من القبة الروسية التي كان يرتديها السيد لوفيت قبل وفاته.

تمثل الشعيرات الخشنة من فرشاة الأسنان مشكلة أخرى. فقد اتضح تلوث هذه العينات عندما أخذت من أمتعة السيد لوفيت (54 مللي بيكريل/جرام). ومع ذلك فإن عملية القياس الدقيقة التي تم إجراؤها على فرشاة الأسنان التي قدمها المعاون الأول من معهد IRA تظهر نشاطاً إشعاعياً كبيراً (21 مللي بيكريل/جرام) بينما لم تقدم عملية القياس الدقيقة الثانية التي تم إجراؤها على فرشاة الأسنان التي قدمها المعاون الثالث من معهد IRA سوى القيمة الأساسية فقط (1.0 مللي بيكريل/جرام). وبالتالي فإن نتيجة قياس فرشاة أسنان السيد لوفيت ليست حاسمة وأن التعيين الإضافي لمادة ^{210}Po المدعومة سيعطي جواباً بشأن وجود تلوث محتمل في فرشاة الأسنان بمادة ^{210}Po غير مدعومة.

ينتج عن قياسات قالب المواد المتفاعلة (جميع المنتجات المستخدمة في التحليل عدا العينات) أنشطة إشعاعية تتراوح ما بين 0.2 و 2 مللي بيكريل/العينة. كما تم ملاحظة الأنشطة الإشعاعية الأعلى (1.2 و 2.0 مللي بيكريل/العينة) باستخدام قنينة زجاجية من حمض الكبريتيك. عندما تم استخدام قنينة جديدة وبلاستيكية من حمض الكبريتيك لاحظنا انخفاضاً كبيراً في نشاط قالب المواد المتفاعلة (> 1 مللي بيكريل/العينة). ومع ذلك فقد توصلنا إلى الحد الأدنى من قياسات الأنشطة الإشعاعية كما أن بعض العينات تتمتع بنشاط إشعاعي أقل من عينات القالب. وبالإضافة إلى ذلك، فقد تم استخدام الأدوات الزجاجية على امتداد العملية الكيميائية وكما هو معروف أن الزجاج يحتوي على مادة ^{210}Pb ذات نشاط إشعاعي كبير. وبالرغم من ذلك، لا يمكن أن يكون وجود مادة ^{210}Po في المواد المتفاعلة والأدوات الزجاجية المستخدمة في هذا العمل سبباً في أنشطة مادة ^{210}Po الإشعاعية التي تم اكتشافها في بعض من أمتعة السيد لوفيت.



الشكل 6. النشاط الإشعاعي لمادة ^{210}Po لجميع العينات التي تم قياسها في هذا العمل وفقاً للنشاط الإشعاعي المتزايد. تمثل الأشرطة الحمراء العينات المأخوذة من معاونين الأول والثاني والثالث بمعهد IRA وكذا ملابس داخلية من متجر لسلع الفاخرة. يمكن أن يتم اعتبار الأنشطة الإشعاعية التي تصل إلى 2 مللي بكيريل/جرام كأنشطة إشعاعية أساسية.

نعرض في الشكل 6 الأنشطة الإشعاعية لجميع العينات التي تم قياسها في هذا العمل. يمكن أن يتم اعتبار الأنشطة الإشعاعية التي تصل إلى 2 مللي بكيريل/جرام كأنشطة إشعاعية أساسية (يوجد حوالي 33 مقياس من أصل 55). نقوم بمراقبة العينات ذات الأنشطة الإشعاعية المتزايدة بكل وضوح. ومع ذلك توجد عينتان من أصل 17 عينة محتمل تلوثها لا تنتمي إلى أمتعة السيد لوفيت، لذا تُعد المقارنة غير حاسمة بشكل كامل. يمكن فقط عن طريق تعيين مادة ^{210}Po غير المدعومة أن يتم حسم المسألة المتعلقة باحتمالية تسميم السيد لوفيت بمادة ^{210}Po . ولهذا السبب قمنا بفصل مادة ^{210}Pb كيميائياً لتعيين مادة ^{210}Po المدعومة في 18 عينة من أكثر العينات تلوثاً وتركهم في حالة مستقرة لأكثر من 3 أشهر من أجل إعادة نمو ^{210}Po في التلابة. وترد قائمة بالعينات بالإضافة إلى النشاط الإشعاعي الحالي لمادة ^{210}Po في الجدول 3. كما نخطط لقياس مادة ^{210}Po المدعومة في بداية يونيو 2012.

الجدول 3. النشاط الإشعاعي لمادة ^{210}Po المدعومة (ملي بكيريل/جرام)، بعد الفصل الكيميائي لمادة ^{210}Pb وفترة إعادة نمو مادة ^{210}Po البالغة 3 أشهر. (مستوى إعادة النمو=36.6%).

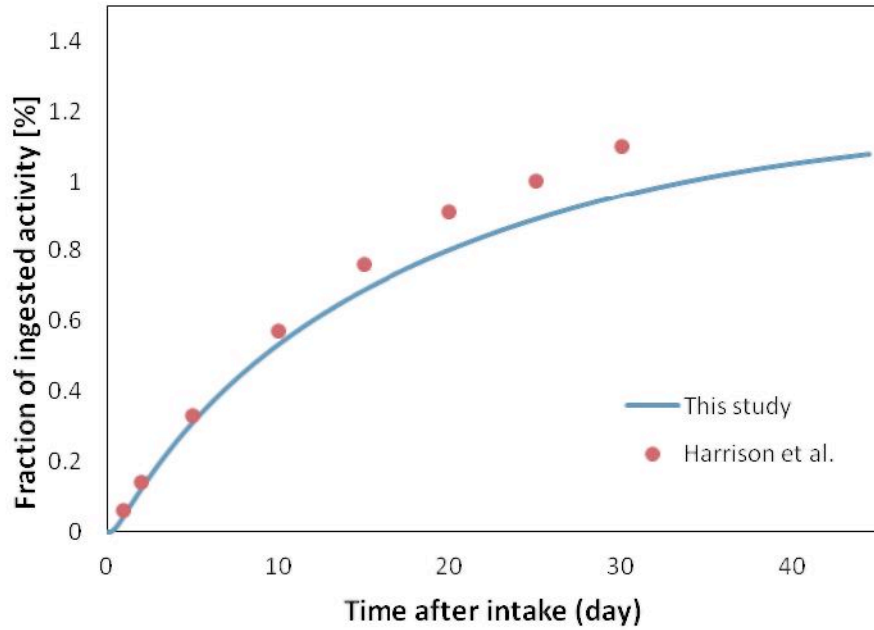
النوع	الرقم	إجمالي مادة ^{210}Po (مللي بكيريل/جرام)	مادة ^{210}Po مدعومة % (مللي بكيريل/جرام)	مدعومة بنسبة %
شعيرات فرشتي الأسنان	Po - 12 - 023	54		
السروال الداخلي أ، بقعة البول	Po - 12 - 011	49		
السروال الداخلي أ، العينة 3	Po - 12 - 015	9.7		
قبعة العمليات الجراحية بقعة الدم	Po - 12 - 019	19.2		
البذلة الرياضية، الياقة، العينة 1	Po - 12 - 008	3.2		
القبعة الروسية 1	Po - 12 - 028	9.7		
السروال الداخلي، المعاون الثاني من معهد IRA، العينة 1	Po - 12 - 030	6.7		
فرشاة الأسنان، المعاون الأول من معهد IRA	Po - 12 - 043	21		
رسومات أولية، بقع	Po - 12 - 047	3.5		
البذلة الرياضية، الجزء الخلفي، بقعة	Po - 12 - 054	6.8		
القبعة الروسية 4	Po - 12 - 056	5.8		
قبعة العمليات الجراحية، العينة 2	Po - 12 - 061	19.9		
السروال الداخلي ب، العينة 1	Po - 12 - 020	0.3		
السروال الداخلي ب، العينة 2	Po - 12 - 021	0.7		
جورب (تم ارتداؤه)	Po - 12 - 032	2.2		
السروال الداخلي ج، العينة 1	Po - 12 - 025	1.1		
شيشب قديم، الجزء الداخلي	Po - 12 - 048	3.9		
الكوفية، بقعة	Po - 12 - 026	1.6		

نموذج من الأنشطة الحيوية لمادة ^{210}Po □□□□□□ □□□□□□□□□□. الإفراز البولوي التراكمي والإفراز البولوي اليومي بعد تناول جرعة حادة عن طريق ابتلاع مادة ^{210}Po موضح في الشكل 7 و 8. وقد تم اكتشاف توافق جيد بين قيم الإفراز البولوي التراكمي التي قدمها Harrison et al [2] والتي تم حسابها في الدراسة التي نحن بصدها (انظر الشكل 6). وفيما يتعلق بتسمم السيد ليتفينينكو قد بمادة ^{210}Po في نوفمبر 2006 بلندن، فقد خلص Harrison et al [2] إلى أن تسرب مقدار 0.1 03. جيجا بيكريل أو أكثر إلى دم ذكر بالغ من المرجح أن يكون قاتلاً في غضون شهر واحد. كما يتوافق هذا المدى مع انمصاص 3 1 جيجا بيكريل أو أكثر، على افتراض أن $f_1=0.1$.

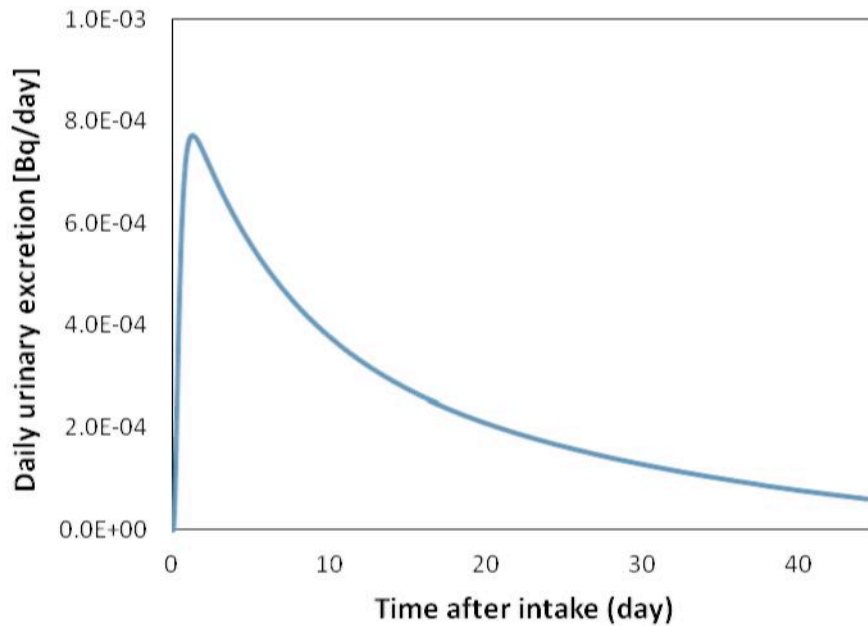
1 كيلو بيكريل في السروال الداخلي إذا كان يتم ارتداؤه خلال الأيام العشر الأولى بعد الامتصاص. هذا النشاط الإشعاعي الذي يبلغ واحد كيلو بيكريل في أكتوبر 2004 تم

تصحيحه لانحلال النشاط الإشعاعي لمادة ^{210}Po ($T_{1/2} = 138.4 \text{ d}$) وأصبح يبلغ ما يقرب من 1.4

مللي بيكريل في فبراير 2012. وعلى سبيل المقارنة تم اكتشاف نشاط إشعاعي يبلغ 180 مللي بيكريل لبقعة بول في السروال الداخلي (أ)
(انظر الجدول 2).



الشكل 7. إفراز بولي تراكمي يحتوي على مادة ^{210}Po بعد ابتلاع جرعة واحدة ($f_1=0.1$).



الشكل 8. إفراز بولي يومي بعد تناول جرعة واحدة من واحد بيكريل من مادة ^{210}Po ($f_1=0.1$).

الاستنتاجات

تم قياس جميع أمتعة السيد لوفيت في بادئ الأمر باستخدام أجهزة كشف التلوث الإشعاعي السطحي والقياس الطيفي لأشعة جاما باستخدام كاشف الجيرمانيوم عالي النقاء. وقد لاحظنا عدم وجود أنشطة إشعاعية كبيرة.

ثم قمنا بعد ذلك بتقييم التلوث المحتمل الناجم عن كمية فتاكة من البولونيوم ^{210}Po (210). ونظرًا للفترة الطويلة ما بين حادثة الوفاة (2004) والقياسات الحالية (2012)، فإن الكمية المحتملة من مادة ^{210}Po التي تم اكتشافها في أمتعة السيد لوفيت قد انخفضت بعامل يبلغ واحد مليون (انخفاض النشاط الإشعاعي بمعدل النصف 20 مرة). لقد أخذنا القيم المعيارية في الاعتبار وقمنا باستعمال نموذج الإفراز البولي والأنشطة الحيوية الخاص بنا. وقد استنتجنا أنه حتى في حالة وجود حالة تسمح مشابهة لحالة ليتفينينكو كان من المتوقع اكتشاف آثار قليلة فقط تقدر بنحو مللي بيكريل (اضمحلال واحد كل 1.000 ثانية) في عام 2012.

وقد اخترنا من أجل ذلك إجراء قياسات ^{210}Po على عينات من ملابس كان يرتديها السيد لوفيت بشكل واضح ويمكن عن طريق الملاحظة المباشرة بالعين الاشتباه في وجود بقع من سوائل بيولوجية متبقية عليها. وتظهر بعض من هذه العينات أنشطة مادة ^{210}Po الإشعاعية التي تزيد بكل وضوح عن القيم التي تم قياسها في العينات الأخرى من الملابس التي لم يتم ارتداؤها أو التي لم تكن تحتوي على بقع واضحة تثير الشك.

ومع ذلك تُعد هذه الملاحظة غير كافية في حد ذاتها لاستخلاص نتيجة نهائية لأنه من ضمن العشر قياسات التي تم إجراؤها على العينات المحلية التي لا تمت بصلة لأمتعة السيد لوفيت يبين قياسان أن أنشطة مادة ^{210}Po الإشعاعية تزيد عن قيمة 2 مللي بيكريل/جرام، والتي يمكن تعيينها كحد للقيمة الأساسية.

لتوضيح أصل مادة ^{210}Po التي تم قياسها ينبغي علينا أن نأخذ في الاعتبار أن ذرة النيوكليد هذه موجودة بشكل طبيعي في البيئة كنواتج انحلال ناجم عن الرصاص ^{210}Pb (210): ويقال إن مادة ^{210}Po مدعومة من قبل مادة ^{210}Pb . لذا نقترح الانتظار حتى بداية يونيو 2012 وقياس العينات مرة أخرى. إذا قمنا بملاحظة كمية كبيرة من مادة ^{210}Po في العينات ذات الأنشطة الإشعاعية العالية في القياسات الأولى فهذا من شأنه أن يثبت أن مادة ^{210}Po مدعومة من قبل مادة ^{210}Pb . ولذلك سيكون هذا الأمر بمثابة حجة قوية جدًا لصالح المنشأ الطبيعي لمادة ^{210}Po التي يتم رصدها، على الرغم من أن هذه الكمية ستكون غير عادية للغاية. أو بدلاً من ذلك، إذا لم تشر القياسات إلى كمية كبيرة من مادة ^{210}Po ينبغي علينا أن نستنتج بأن النشاط الإشعاعي العالي الذي تم قياسه في أول مرة لم ينتج عن انحلال مادة ^{210}Pb وبالتالي لا يمكن تفسيره عن طريق الظواهر الطبيعية المعروفة.

وفي النهاية، وبالإضافة إلى التحليل الطيفي الخاص بنا لأشعة ألفا، قمنا بإعادة تحليل البيانات الأولية للقياس الطيفي لأشعة جاما الذي تم إجراؤه على عينات البول بواسطة الحكومة الفرنسية قبل موت السيد لوفيت. لم نكتشف أي نشاطات غير طبيعية لأشعة جاما. وعلى وجه الخصوص فقد فحصنا جانب الطاقة الذي بلغ نحو 803 كيلو إلكترون فولت والمنبعث (بشكل ضعيف) عن مادة ^{210}Po . لم نعر على أي دليل على وجود ذرة النيوكليد هذه في الأطياف.

المراجع

1. Leggett, R.W. and K.F. Eckerman, *A systemic biokinetic model for polonium*. Sci Total Environ, 2001. 275(1-3): p. 109-25.
2. Harrison, J., et al., *Polonium-210 as a poison*. J Radiol Prot, 2007. 27(1): p. 17-40.
3. Li, W.B., et al., *Internal dose assessment of ²¹⁰Po using biokinetic modeling and urinary excretion measurement*. Radiat Environ Biophys, 2008. 47(1): p. 101-10.

بريفات دوسينت (أستاذ مساعد) الطبيب باسكال فرويدوفو
رئيس مجموعة الإيكولوجيا الإشعاعية
معهد الفيزياء الإشعاعية (IRA)
مستشفى جامعة لوسان (CHUV)
لوسان، سويسرا

الطبيب سيباستيان باتشلي
مسؤول مجموعة الحماية من الإشعاعات
معهد الفيزياء الإشعاعية (IRA)
مستشفى جامعة لوسان (CHUV)
لوسان، سويسرا

البروفيسور المشارك الطبيب فرانسوا بوتشود
مدير معهد الفيزياء الإشعاعية (IRA)
مستشفى جامعة لوسان (CHUV)
لوسان، سويسرا